

潤滑油現場檢驗技術之研究

作者：呂致中 中校

提要

- 一、現代的地面作戰強調火力和機動力，各式輪、履帶式車輛大量運用於戰場。因此發揚部隊戰力需要健全的後勤補保為後盾，專注裝備維護是成就高妥善率的捷徑，亦是部隊永續的戰力發揮，但裝備保養需支出大量國家公帑，方能確保裝備高度妥善。
- 二、本研究係針對潤滑油的現場檢驗技術及換油標準，參酌美軍現行作業規範、書籍、網路及各家油品公司的資料，設計一套適合二級廠人員使用的工具，又能迅速提供相關潤滑油之品質檢驗報告，以決定是否應實施油料與濾芯之更換的作業程序。。
- 三、任何車輛引擎的潤滑系統，應有一定的換油週期。但是此種換油週期並非固定不變，往往需要視操作情況的不同，四周環境的差異，以及油料污染程度之不同而酌予縮短或延長換油週期。
- 四、1970 年代美國陸軍保養人員開始尋找增加地面作戰系統可靠度及裝備妥善率的方法。美軍運用油質檢驗技術，僅駐歐美陸軍就節省 52% 的預算支出，故油質檢驗是值得開發與運用的技術，無論是二級廠或者是基地單位，都可以掌握裝備使用現況，檢驗出損壞之潛在因素，積極裝備維護妥善，又可節約大量經費，實為一舉數得之工作。

壹、前言

孫子曰：「凡用兵之法，馳車千駟，革車千乘，帶甲十萬，千里饋糧；則內外之費，賓客之用，膠漆之材，車甲之奉，日費千金，然後十萬之師舉矣。」

現代的地面作戰強調火力和機動力，各式輪、履帶式車輛大量運用於戰場。因此裝備整備與戰備訓練同等重要，發揚部隊戰力需要健全的後勤補保為後盾，專注裝備維護是成就高妥善率的捷徑，亦是部隊永續的戰力發揮。

然而裝備保養需支出大量國家公帑，單以一個打擊旅而言，各式車輛多達二、三百輛，依據技術書刊的週期實施保養，年度計畫性備料所需經費就高達數百萬元（尚不含維修的部份），其中定更件中各式濾芯與耗材中油料的部份就佔去維保用料相當高的比率。

另外，動力裝備並非在百分之百的高度使用狀況下，潤滑油料是否應依據

技術書刊的保養週期實施更換？在節約保養經費與維護裝備妥善的蹉蹉板上，似乎沒有一個依循的標準。

因此筆者研究的目的，係針對潤滑油的現場檢驗技術及換油標準，參酌美軍現行作業規範、書籍、網路及各家油品公司的資料，設計一套適合二級廠人員使用的工具，又能迅速提供相關潤滑油之品質檢驗報告，以決定是否應實施油料與濾芯之更換的作業程序。

貳、潤滑油使用的目的

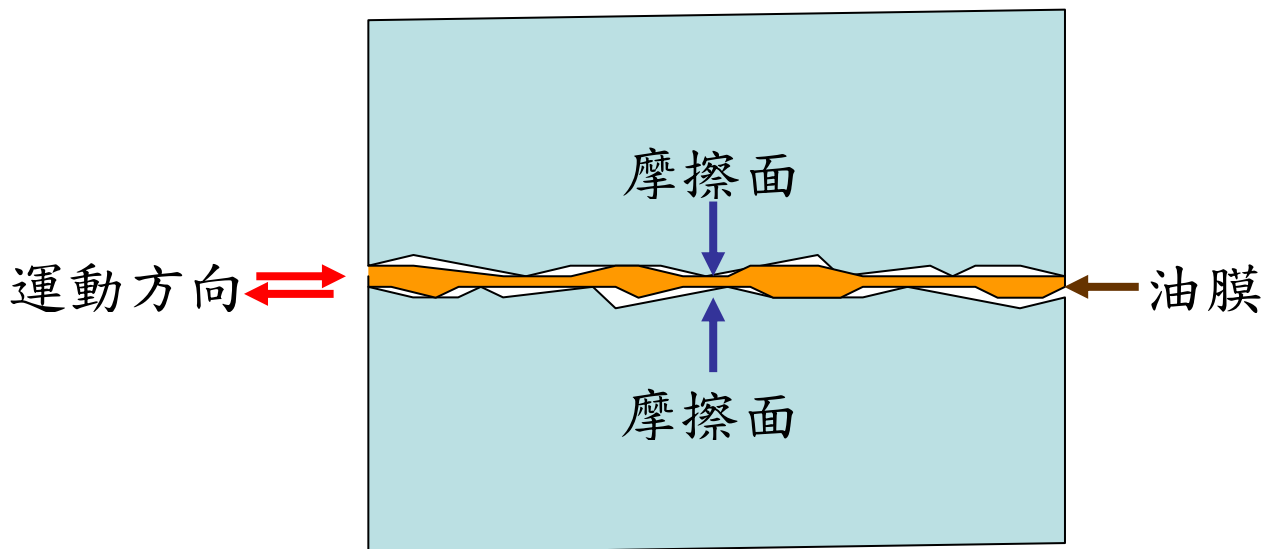
固體與固體接觸面間有相對運動時，均有摩擦產生，以肉眼看起來很平滑的平面，在顯微鏡放大下就可以看到驚人的凹凸起伏。

車輛各部的活動部份之磨擦力越小越佳，在摩擦面間加入潤滑油可避免金屬與金屬間直接接觸以減少摩擦，稱為潤滑。¹

潤滑油使用的目的，在提供摩擦面相關作用：

一、減摩作用：

在金屬摩擦面間生成油膜，從乾燥摩擦變成流體潤滑，除了可以減少摩擦外，更能防止金屬磨損與發熱(如圖一所示)。



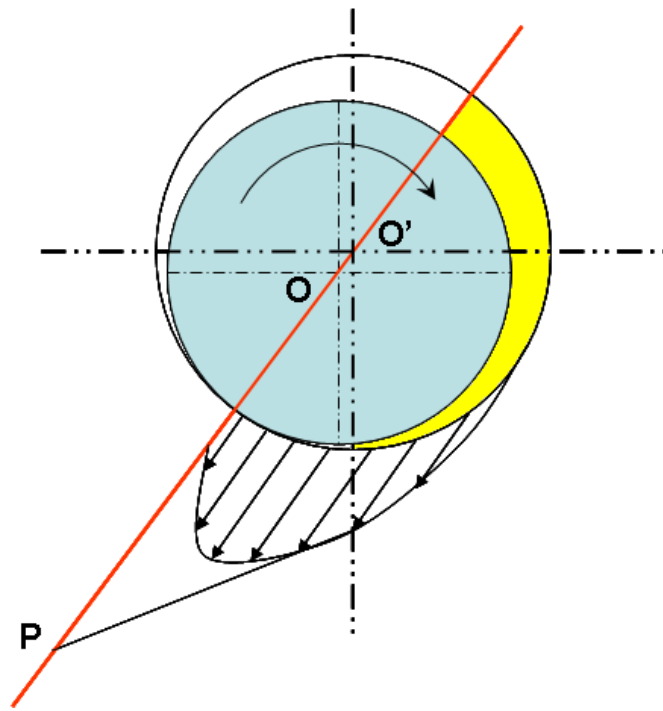
圖一：減摩作用示意圖

資料來源：參酌小川勝著，賴耿陽譯《潤滑油及潤滑》繪製。

二、集中應力分佈作用：

在乾摩擦狀態，通過軸而施加的應力呈線性集中於軸承面中心線方向，但在摩擦面的間隙有油膜存在時，油膜將承受的應力傳送至各部，增加受力面積，使原集中應力分散，不損壞軸承(如圖二所示)。

¹美國 PALL 公司技術資料，污染控制與過濾原理，第 6~10 頁。



圖二：集中應力分佈作用示意圖

資料來源：參酌小川勝著，賴耿陽譯，潤滑油及潤滑繪製。

三、冷卻作用：

潤滑油循環注入摩擦面，同時吸收摩擦產生的熱，帶回油底殼，使熱傳送至油底殼外，達成冷卻效果。

四、密封作用：

在汽缸潤滑時，潤滑油提供襯套與活塞環側面之間減摩作用外，並防止壓縮空氣或燃燒氣體洩漏，使氣體充分燃燒，故有密封作用。

五、防銹作用：

潤滑油附著於金屬表面，有效隔絕空氣、水分與酸性物質等，防止金屬生鏽或腐蝕。

六、清淨作用：

潤滑油於循環時，可洗除附著於摩擦面的碳、鐵屑、粉塵及各種氧化物，經由濾芯濾除，維護潤滑品質。²

叁、潤滑油基本性質

要辨別潤滑油的品質優劣，適用與否，必須要瞭解其品質標準的意義。

²小川勝著，賴耿陽譯，潤滑油及潤滑，(復漢出版社，民國 71 年 1 月 1 日出版)，第 3、21~22 頁。

國 光 牌 特 重 級 車 用 機 油 代 表 性 檢 驗 結 果						
S A E 級 數	SAE Viscosity No.	10W	20W/20	30	40	50
美 制 比 重	Gravity, API, 15.6°C	29.1	28.2	27.4	26.6	26.0
黏 度	Viscosity, Kin., cSt @40°C	40.25	65.6	102.6	156.4	216.7
	@100°C	6.35	8.67	11.58	15.26	19.96
黏 度 指 數	Viscosity Index	106	104	100	98	98
流 動 點	Pour Point, °C	-36	-27	-21	-18	-15
閃 火 點	Flash Point, COC, °C	234	248	258	252	276
顏 色	Color, D1500	1.5	L2.5	3.0	4.0	4.5
總 鹼 價	TBN, mg KOH/g	5.6	5.6	5.7	5.7	5.8
硫 酸 鹽 灰 份	Sulfated Ash, %	0.74	0.74	0.73	0.73	0.72
API 作 業 標 準	API Service Classification	SF/CD	SF/CD	SF/CD	SF/CD	SF/CD
產 品 編 號	Product No.	LB51151	LB51152	LB51153	LB51154	LB51155
資料來源：中油網站，〈 http://www.cpc.com.tw/ 〉						

以下針對潤滑油脂之物理與化學性質做一說明：

一、黏度(Viscosity)

黏度 (Viscosity) 為潤滑油最主要之性質。黏度為牛頓型流體流動時其應變與切應力之比例常數。簡而言之，黏度亦為流體流動時之阻力。一般所謂油料之厚薄 (Light or Heavy Body)，即指黏度之大小。

潤滑油油膜之強度與黏度大致呈正比例。黏度愈高，其潤滑油膜通常愈強韌。故黏度為機械選用正確油料必需考慮之最主要因素之一。

二、黏度指數(Viscosity index)

任何流體之黏度，必隨溫度而變化，油料與潤滑油都不例外。表示油料黏度因溫度變化之程度，稱為「黏度指數」(Viscosity Index，簡稱 V.I.)。黏度指數越低，表示溫度稍有變化時，黏度變化較大。反之，黏度指數越高，則表示溫度變化幅度較廣時，黏度之變化卻不太大。

三、閃火點(Flash point)

油料徐徐加熱時，油料汽化加速，到達至某一溫度，如有火苗接近，能發生藍色閃光，但瞬即熄滅者，稱為閃火。達成閃火之最低溫度稱為「閃火點」(Flash Point) 其單位：°C 或 °F。

如繼續徐徐加熱油料，當所生油氣能夠繼續維持燃燒之最低溫度，稱為「著火點」(Fire Point)。一般油料之著火點約較閃火點高 50°F 左右。

由閃火點與著火點之高低，可以判定油料儲存與運輸期間之危險性以及發生火災之難易。例如：汽油之閃火點為 -20°F ，容易著火而危險；但潤滑油之閃火點都在 300°F 以上，為危險性極小之油料。

潤滑油之閃火點降低，可能表示油中污染汽油或柴油成份，此為車輛引擎曲軸箱機油變薄之主要佐證。

四、流動點(Pour point)

又稱傾點。在一定條件下，徐徐冷卻油料至不可流動之最低溫度稱為流動點（Pour Point； $^{\circ}\text{C}$ 或 $^{\circ}\text{F}$ ）。

測定流動點時（ASTMD97），試管內油料於測定之前必須按規定加熱至一定溫度，然後於無攪動情況下徐徐冷凍，直至將試管取出，立即斜放至水平時，於五秒鐘內油料仍有流動現象之最高溫度，即為流動點。

潤滑油之流動點，一般以低於冬天大氣最低氣溫以下 10°F （ 5°C ）以下為宜。

五、殘碳份(Carbon Residue)

油料在半隔絕之空氣下加熱，油份徐徐蒸發而焦化，殘留不揮發性碳渣之份量，稱為「殘碳份」或「殘碳量」，其單位為%。

所謂殘碳份者，實為油料揮發後之殘渣，其中除含有殘留之含碳物質外，更含有灰份，不揮發之添加劑成份，金屬成份等等，油中含有多量之金屬添加劑時，其殘碳份自亦比例增高。

燃油中殘碳份較多時，表示在引擎燃燒成碳之趨勢較大，清淨型車用機油因含多量金屬成份之清淨分散添加劑，故其殘碳份較無添加劑者為高，但因其具備良好之清淨分散效能，不但引擎氣缸內部結碳不多；反而有效保持引擎內部之清淨。

六、顏色

油品顏色的深淺，往往可以判斷品質之是否均勻一致，或是否染有污物。

七、比重

潤滑油比重之高低，對潤滑效能之優劣，毫無關係。但潤滑之比重，多用來計算體積與重量。一般潤滑油之比重多在 0.85 至 0.90 之間，但也有高至 0.99 者。

八、中和價(Neutralization No.)

測定潤滑油之中和價（Neutralization No）之目的，旨在明瞭油中含

酸或含鹼之程度。中和價包括酸價(Acid Value 或 Acid No)與鹼價(Basic Value 或 Basic No)兩種。但酸價又分有強酸價(Strong Acid No)與弱酸價(Weak Acid No)兩種。通常將強酸價與弱酸價合併測定，是為「總酸價」(Total Acid No)，簡稱「TAN」；同理，強鹼價與弱鹼價亦合併為「總鹼價」(Total Basic No) 簡稱「TBN」。

除另有註明外，一般所稱之「中和價」，均指「總酸價」(TAN)，其單位： mgKOH/g 。測定總酸價之目的，瞭解油中有無酸性成份，因為以往以硫酸法精製油料每有殘酸留於油中，易損機械；但現代化之潤滑油精煉均改用溶劑及加氫處理，製造過程中均無酸類涉及，故新油之總酸價極低。總酸價與總鹼價之測定，有助於判定潤滑系統中是否因酸度增加，或鹼度降低而判定是否需要換油。

九、正戊烷值 (ASTM D893)

潤滑系統中之潤滑油，經過長期使用之後，難免污染外來污物（如固體污物、雜質、水份等），以及油料本身氧化及劣化後之產物，都可用本法來測定。

潤滑油「正戊烷不溶份」(n-Pentane insolubles)，與「苯不溶份」(Benzene insolubles)：正戊烷與苯都不能溶化之物質為：碳渣、燃油渣滓、金屬磨屑、路塵砂土、鉛鹽、其他固體污物等。但潤滑油氧化後溶化於油中之高分子氧化產物，如膠質(Gum)，樹脂(Resins)等則不溶於正戊烷而可溶於苯。故一般不溶於正戊烷者，均稱為全部不溶物(Total Insolubles)。

正戊烷不溶份減去苯不溶份，即為油溶性氧化物之含量。油溶性氧化物在油中之含量，有一定之限度，如含量超過某一限度，極易析出油泥(Sludge)或膠質。故正戊烷與苯不溶物之測定，對舊油品質之檢驗，至為重要，由此可推測正確換油日期。

十、含水量

新潤滑油中所含水份均甚低，但如儲油不慎而有吸水之可能。又各種引擎用潤滑油中如含較多之凝結水份，則須追查水份來源；水份多時更須提早換油。

柴油引擎用潤滑油，必須具備極優異的清淨分散(Detergent Dispersant)特性，可將積留於引擎汽缸及活塞環等處的結膠積碳分散成極細的微粒懸浮於油中，不斷使引擎汽缸及活塞環等處保持清潔，運轉靈活。因此潤滑油應具備以

下幾種特性：

- 一、應具有適當之黏度。
- 二、黏度指數應高。
- 三、具有防止引擎零件腐蝕及生鏽之性能。
- 四、穩定且不易氧化變質。
- 五、在一定之 API 作業情況下，能抗高溫且有優良之清淨分散效能。
- 六、良好之消泡性。³

肆、引擎用潤滑油之分類

當汽車第一次出現時，人們就企圖去分類及分辨機油；黏度被定義初期，油品則被分類成輕度，中度或重度的黏度。當精確的測量黏度的儀器可被利用時，美國汽車工程協會(SAE)便發展出了分類系統。這系統(機油黏度分類—SAE J300)，已被修正了幾許年了，建立了 11 個區別的機油黏度分類或等級(如 SAE 0W, SAE 5W, SAE 10W, SAE 15W, SAE 20W, SAE 25W, SAE 30, SAE 40, SAE 50,及 SAE 60)，其他等級數字則被使用於定義於齒輪油品的黏度。

黏度是引擎油最重要物理特性，故 SAE 的黏度類別被廣泛的使用於全世界。SAE 區別介於冬天”W”等級及夏天等級。對於冬天等級範圍為某些低溫黏度被設定。對所有的範疇中，高溫範疇被設定為 100℃及 150℃。油品若集合了冬天(如 SAE 5W)及夏天(如 SAE 40)黏度特性，被稱為複等級油品(如 SAE 5W-40)。

美國軍方及美國政府採購及使用潤滑油脂，都依據美國國防部所訂之美軍規範(U.S. Military Specifications)為準。我國國軍也參照美國之制式及美軍油料規格與號碼用油。

供應美軍用油除應全部符合各個美軍油料規範中所列之物理性質、化學性質及引擎試驗、其它效能或機械試驗結果外，尚須送往美國國防部，經與標準油比較或混合試驗合格後，始能獲得美軍之認可。

美軍軍用潤滑油都以簡單之符號、字母或數字來表示，以利部隊識別及應用。例如：以 OE-30 代表 Oil Engine-SAE 30，即車用機油 SAE 30…等。

以 M109 系列自走砲為例，引擎曲軸箱機油為 OE-30，變速箱機油為 OE-10，最終驅動器機油為 OE-30。

³ 中國石油股份有限公司網站，〈<http://www.cpc.com.tw/big5/content/index01.asp>〉。

M 1 0 9 A 2 式 1 5 5 公 厘 自 走 中 型 榴 砲 油 料 表				
潤 滑 劑	重新加注需要量 (視 需 要)	預 期 之 溫 度		
		華氏 32 度以上	華氏 40 度至 華氏零下 10 度	華氏零度至 華氏零下 65 度
引 擎	27 夸特	OE/HDO 30	OE/HDO 10	OEA
變 速 箱	56 夸特	OE/HDO 10	OE/HDO 10	OEA
承 載 裝 置 及 地 輪	視需要	OE/HDO 30	OE/HDO 30	OEA
最終驅動機	視需要	OE/HDO 30	OE/HDO 10	OEA
資料來源：LO-9-2350-303-12 M109A2 155 公厘自走中型榴砲潤滑令				

伍、潤滑油劣化之原因

潤滑油需長時間保持潔淨，方能維持潤滑效果，但在長時間使用後，仍會造成油質劣化，影響潤滑作用，一般而言，劣化原因概分為：

一、潤滑油變質：

- (一) 氧化：多數潤滑油皆由石油提煉，再混入添加劑而製成，主要化學成分為烴、烷類與石蠟等物質，於高溫作用下，易產生熱分解或與金屬物質、水及雜質（矽、碳…等）產生氧化作用。
- (二) 碳化：潤滑油於高溫燃燒狀況下（如柴油引擎汽缸內），易產生碳化，形成碳粒子附著於引擎內。

二、其他物質混入：

- (一) 稀釋：由於汽缸與活塞密合度不佳，導致燃料混入潤滑油中，造成稀釋現象。
- (二) 乳化：燃燒所產生之水分因引擎熄火而凝結，或是汽缸體破裂造成冷卻水滲透，混入潤滑油中，造成乳化現象。
- (三) 雜質混入：空氣中的塵埃、引擎汽缸磨損產生的鐵微粒、銹與其他外來物質，混入油品中。

我們可以根據潤滑系統內油料的抽樣檢驗結果，來了解潤滑系統的正常作業，機械的運轉情況，或車輛引擎的燃燒效能，以及油料的污染情形，而據以判斷正確的換油時期。

任何車輛引擎的潤滑系統，應有一定的換油週期。但是此種換油週期並非固定不變，往往需要視操作情況的不同，四周環境的差異，以及油料污染程度

之不同而酌予縮短或延長換油週期。

惟有根據潤滑系統舊油的檢驗結果，才能正確瞭解油料受外來污物的污染情形，以及油料本身的氧化變質，進而判斷是否需要排除舊油換入新油。不但如此，因為油料在車輛引擎或工業機械中，與其運轉以及保養，都有十分密切的關係。所以在預防保養中往往根據油料的檢驗結果，而採取適當的保養措施，效果卓著。例如：

一、機油經檢驗後任何不正常的結果，都反映機械運轉之失常。

二、定期檢驗機油，可以預知機件的損傷，然後根據此一資料，可在機械發生故障之前採取適當步驟。

三、就車輛引擎而言，可以根據引擎機油情況，說明引擎是否有下述之一種或多種之情況存在，例如：燃油漏洩、冷卻水漏洩、機油濾清器作用不良、空氣濾清器效能不夠、燃油燃燒不良、機油氧化、軸承損傷、鍍鉻氣缸襯套過份磨耗、機油添加劑衰退、機油冷卻器污化、送風機或增壓機故障、活塞環折斷或咬死、活塞銷與襯套磨損等(如下表所示)。並且也可指示機油是否可以繼續使用。此種情況，如果任其存在，必嚴重損害引擎，難於修復。是以，早期的發現與處理，實為必要。

機 油 中 一 般 常 見 之 污 染 物 一 覽 表		
檢 驗 結 果	可 能 磨 損 處	問 題 所 在
煤灰過多	軸承、活塞、活塞環	機油變濁、黏度變低
氧化物增加	軸承、活塞、活塞環	機油變濁、含漆、含碳
鉻、鉬、鐵	活塞環	活塞環卡住或斷裂
矽、鋁、鉻、鐵	活塞、活塞環	空氣濾清心子髒污
矽、鉛、鉻、鐵	曲軸軸承	引擎底部髒污
銅、鋁、鐵	連桿	機油黏度變低或含雜質
鋁、鉻、鐵	活塞、活塞環	機油黏度變低、操作溫度不正常
鉛、鋁	曲軸軸承	機油黏度變低或含雜質
柴油	軸承、活塞、活塞環	機油含雜質、黏度變低
水	軸承、活塞、活塞環	冷卻液洩漏、油含雜質、汙泥
參考資料：范北辰、高阿福、何克威合著， <u>預測保養運用於車輛保養之研究</u> (裝甲兵學校學術季刊 191 期，2007 年 12 月 20 日)。		

四、機油檢驗結果之判斷為一相當重要之工作，判斷人員非但必須了解檢驗結

果之意義，同時必須了解機械情況，最好能夠瞭解引擎或機械之病歷，諸如軸承更換日期，上次換油日期，補充油料情形，機油冷卻器清洗日期，引擎翻修日期，機械故障情形等等。

因為各種油料種類與品質之不同，機械設計及結構之差別，油料檢驗項目及檢驗結果之意義的判讀，同時決定換油之標準均不盡相同，可以請供應廠商提供污化之比率資料，自行或請人化驗，比對結果，以作判斷依據。

一 般 換 油 標 準 一 覽 表								
測試項目 油 品 種 類		40℃cSt 黏度變化	中和價 (TAN)	水份%	正戊烷 不溶份%	苯 不溶份%	樹脂份%	其 他
汽 油 引 擎 機 油	汽 油 引 擎	±10%	2.0	0.1	0.5	0.3	0.2	● 汽油引擎燃油稀釋 6-7% 或以上。 ● 閃火點減低 14° 以上。 ● 灰份增加 0.3% 以上(氧化矽 0.1 % 以上) ● 清潔劑衰退度 50 % 以上。
	重 級 車 用 引 擎	±10%	2.0	0.1	0.5	0.3	0.2	
	特 重 級 車 用 引 擎	±10%	2.0	0.1	1.0	0.8	0.2	
柴 油 引 擎 機 油	柴 油 引 擎	±10%	2.0	0.1	0.5	0.3	0.2	● 柴油引擎燃油稀釋 5% 或以上。 ● 閃火點減低 14° 以上。 ● 灰份增加 0.3% 以上(氧化矽 0.1 % 以上) ● 清潔劑衰退度 50 % 以上。
	重 級 車 用 機 油	±10%	2.0	0.1	0.5	0.3	0.2	
	特 重 級 車 用 機 油	±10%	2.0	0.1	0.1	0.8	0.2	
	超 重 級 車 用 機 油	±10%	2.0	0.1	1~2	0.8 ~1.8	0.2	
● 表中標示汽、柴油引擎根據舊油檢驗結果之一般換油標準。表列之數字為最高限度，凡超過此限度者，應即換油。								
● 所應注意者，本表僅供一般參考之用。因為各個機械之設計、結構、以及作業情況，互不相同。機械情況與油料變化關係極為密切，油料品質之變化往往迅速反映機械之情況。所以最正確之換油標準，必須視個別機械，以及所用潤滑油品質而另行訂之，並隨時研究改進。如機械製造廠家另有特定之換油標準者，應以其特定之限度為準。								
資料來源：石油情報出版社，〈 http://www.oil.net.tw/pip/lbg2006/chapter/6-10.htm 〉								

陸、美國陸軍油質分析計畫（Army Oil Analysis Plan，AOAP）⁴

1970 年代美國陸軍保養人員開始尋找增加地面作戰系統可靠度及裝備妥善率的方法。他們需要一個可以偵測潛在失效、低維持成本、減少過量元件磨損、減少資源使用的系統，因此開始了陸軍油質分析計畫（AOAP）。⁵

美國陸軍油質分析計畫（AOAP）是偵測即將發生失效的元件及定期收集油品樣本並評估油品狀況。早期對問題的檢測可使裝備在損壞之前得以執行保養。從 1975 年開始，陸軍油質分析計畫已防止百萬桶油品的浪費、減少了廢油與保存了資源。隨著更多戰車及其他相關裝備納入陸軍油質分析計畫中，由陸軍油質分析計畫所省下的資源已日益增加。

藉由可攜式或隨行式油質狀態監控技術能夠提高 AOAP 的能力，快速為用戶提供分析結果，因此能夠達到 AOAP「強化系統管理，減少停工維修，避免發動機、傳動和液壓系統重大失效」的目標。為了確定是否存在商品化或處於開發狀態的可攜式和線上式油質分析技術與儀器，美軍陸軍裝甲車司令部（US Army Tank-automotive Armament Command,TACOM）裝甲車研究開發與工程中心（Tank-Automotive Research, Development and Engineering Center ,TARDEC）所屬的石油與水品質技術小組（PWQTT）對美國 34 家油質分析技術開發/儀器製造商的 44 種油質分析技術與儀器進行了市場調研，於 1999 年 5 月發表了題為“油質分析儀器市場調查報告”。

美軍建立了比較完備的軍用機器油質分析實驗室管理形式。國防部成立了聯合油質分析計畫技術支持中心（Joint Oil Analysis Program-Technical Support Center, 簡稱為 JOAP-TSC），負責協調陸軍油質分析計畫（Army Oil Analysis Program，簡稱為 AOAP）、海軍油質分析計畫（Navy Oil Analysis Program，簡稱為 NOAP）和空軍油質分析計畫（Spectroscopic Oil Analysis Program，簡稱為 SOAP）。在 JOAP-TSC 的協調和指揮下，依靠基層和基地油質化驗室的支援，美軍正在建立具有各個軍種自身特色的油質分析計畫，並期望以此為基礎最終建立統一和完善的三軍聯合油質分析計畫，其實施過程的主要內容包括：

- 一、建立油質分析計畫的體系；
- 二、執行油質分析計畫的作業程序；
- 三、籌畫建立油質分析資料庫系統（包含油質極限值預警功能）和資料通訊系統。

陸軍油質分析計畫之效益-以駐歐美陸軍為例(U.S Army, Europe 或簡稱

⁴ AMC-R 11-47 《Army Oil Analysis Plan（AOAP）》，19 Jun 2006。

⁵ 范北辰、高阿福、何克威，〈預測保養運用於車輛保養之研究〉，《裝甲兵學校學術季刊 191 期》。

USAREUR)，分析人員選擇了 25 個地面系統，並計算根據潤滑令更換油料的花費，與執行陸軍油質分析計畫例行油品採樣的花費做比較。經過了兩年。這項研究在近 15000 台 USAREUR 的戰鬥車中，陸軍油質分析計畫省下了近 1.4 百萬夸特的油料，這相當於排了 4 英哩長共 55 加侖油桶的油量。在這期間，USAREUR 避免了 69000 次油品濾清器的更換。這種油料的浪費與預防消除了龐大廢油的產生。

USAREUR 的研究也指出，陸軍油質分析計畫所指示的油品更換省下了不少錢。在不包含實驗所需要的機油外，與執行潤滑令下的機油使用量做比較，總共省下了 58% 的機油。相對於經費而言，根據潤滑令花了 3.5 百萬美元，而陸軍油質分析計畫花了 1.55 百萬。若包含實驗支出，則陸軍油質分析計畫省下了 52%，全陸軍的研究省下了更多的錢。LGSA(Army Material Command Logistic Support Activity)在陸軍油質分析計畫的指導下，估計 1999 年陸軍省下了 86%，在 M1A1 戰車、M1075 底盤系統、M1037 高動力多功能型輪車、PU798 動力單元、120T 火車頭、MEP-005A 發電機等。分析人員計算出陸軍油質分析計畫花費 500,000 美元，而執行潤滑令花了 3.6 百萬美元。同一會計年度，陸軍省下了 47.1 百萬磅的油品，相當於 7.8 百萬美元。

柒、油質現場檢驗技術之設計

在實驗室裡進行油質檢驗，程序繁複又需耗費大量經費購置儀器，較適宜設置於基地保養單位，由專業人員進行檢驗；而二級廠保養人員需要的是一套及時、簡單的檢測技術。

潤滑油品質的現場快速檢驗技術，是一項現場、隨時、快速、簡便的實用技術，可對正在使用的潤滑劑進行初步定性及定量分析。通過這一手段可幫助現場工作人員及時地瞭解潤滑油品質基本狀況，從而可動態監控引擎運轉狀態。因此油質分析儀器應滿足以下條件：⁶

- 一、重量：儀器應當小到一個人即可搬運（最大重量為 19 公斤）。
- 二、尺寸：儀器由一個人即可攜帶，如果不是隨行式儀器，應當能夠與軍用設備零件聯接。
- 三、耐用性：儀器堅固耐用。
- 四、性能：指儀器所能測定的參數。
- 五、電源要求：可攜式儀器應自帶電源，隨行式儀器應與標準軍事裝備的電源

⁶ 李生華、金元生、陳大融合著，基於油液診斷與預報的機敏機器系統的概念與技術，（北京清華大學摩擦學國家重點實驗室）。

具有相容性。

六、自維持工作時數：系統在無維修（修理、校正、充電等）狀態下連續工作的小時數。

七、價格：考慮儀器價格時應當與對整個系統的支付能力進行比較。

依據國家有關標準，參酌相關報告與研究資料，結合眾多現場應用比對技術，開發這套實用性強、價格合理、操作簡便和較高準確度的現場檢驗技術。藉此技術可有效提高動力機故障診斷的預知性、準確性和及時性，提供各式車輛管理的重要依據。

該套技術可在現場檢驗針對外觀、色度、黏度、水分、酸鹼值、機械雜質和斑點試驗共七種性質進行分析，分述如后：

一、外觀分析⁷

（一）適用範圍

適用於所有潤滑油。通過看、聞、撚，初步認知在用潤滑油品質的基本狀況。

（二）步驟

1. 看

用潔淨玻璃試管盛 10 毫升左右油樣，看：

(1)若透明，上下顏色均勻正常，無懸浮、沉降的雜質及水分，無氣泡，油質一般可以。

(2)若明顯看到水珠，含水量則大；油中或上層有氣泡，抗泡沫性則差；有懸浮物（如細小纖維、碳黑等）、有沉降物（砂土、金屬及其銹蝕物等），機械雜質含量則大；乳化、渾濁、不透明，顏色較深（灰暗、發黑、不均勻等），可能是混入污染物、水分和空氣。則該油有問題。

2. 聞

與新油相比，聞出明顯的酸味、異味或特殊刺鼻味，說明該油氧化嚴重，產生了有機酸（對設備有腐蝕性），或混入其他物質（如汽油、柴油等）。

3. 撚

用兩手指撚少許油樣，一張一合，如黏手，拉出較長的絲，則黏附性好；若不怎麼黏手（如水一樣），拉不出油絲，則黏附性差。

⁷ 華虹科技有限公司，潤滑油質量現場快速檢驗技術。

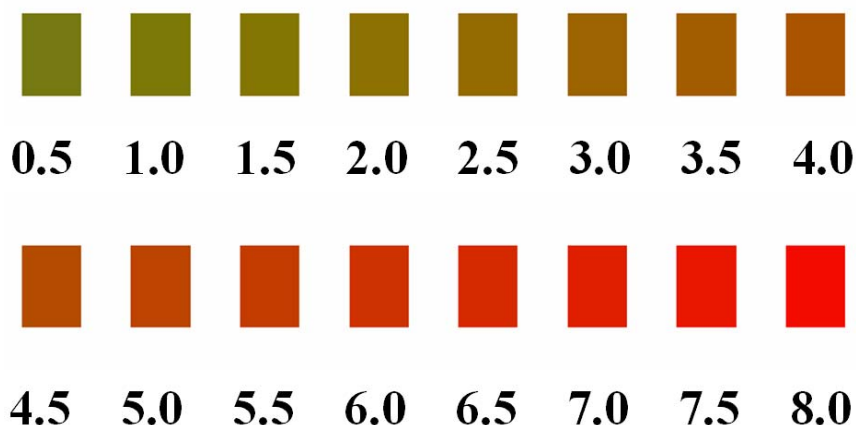
二、色度現場快速檢驗法⁸

(一) 適用範圍

適用於所有的工業潤滑油、內燃機油。是一種最簡易、最快速判斷在用油品質優劣的一種方法。

(二) 儀器

1. 標準色板，1 塊。



圖三：標準色板

資料來源：參酌中華民國國家標準 (CNS) 3391 繪製

2. 玻璃試管，2 只。

(三) 操作步驟

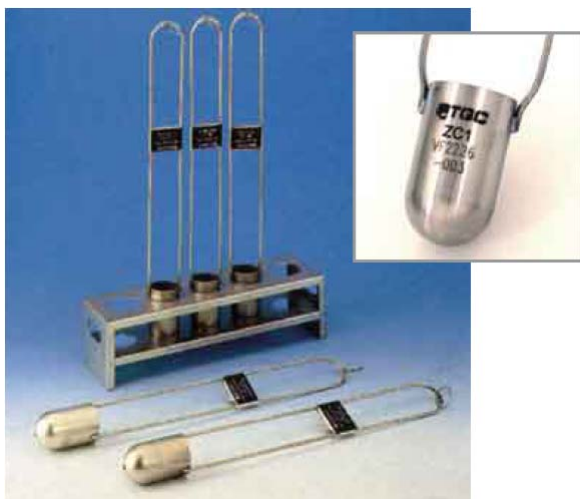
1. 將試油於油樣瓶中搖動均勻。
2. 把新油、在用油分別倒入乾燥、潔淨的玻璃試管內到刻度(10 毫升)。
3. 將“2.”兩隻試管分別與標準色板比對，記下每個試油色號。

(四) 判斷

若在用油色號比新油大 3 個色號以上，則該在用油受污染嚴重（混入灰塵、雜質、水分，使用時間長、高溫氧化使顏色變深等），油質變劣。可作為送到潤滑油專檢機構進行常規檢驗的依據之一。若色差在 3 個色號內，則該在用油色度符合使用要求。

三、黏度現場快速檢驗法

⁸ 同註 7。

		
ASTM Zahn 與 cst 秒數換算		
公式：V = K x (T-C)		
V = 流動黏度 (cst)		
T = 流經時間 (Zahn 秒數)		
K, C = 常數 (註 1)		
Zahn Cup	流動黏度(cst)	Zahn秒數
#1號	V = 1.1 x (T - 29)	45...80秒
#2號	V = 3.5 x (T - 14)	25...80秒
#3號	V = 11.7 x (T - 7.5)	20...75秒
#4號	V = 14.8 x (T - 5)	20...80秒
#5號	V = 23 x (T - 0)	20...75秒

圖四：黏度杯及黏度換算表

資料來源：化工儀器目錄

黏度杯之計算方式是以流出之時間來換算，測定潤滑油樣品黏度近似值的一種簡易方式。

(一) 適用範圍

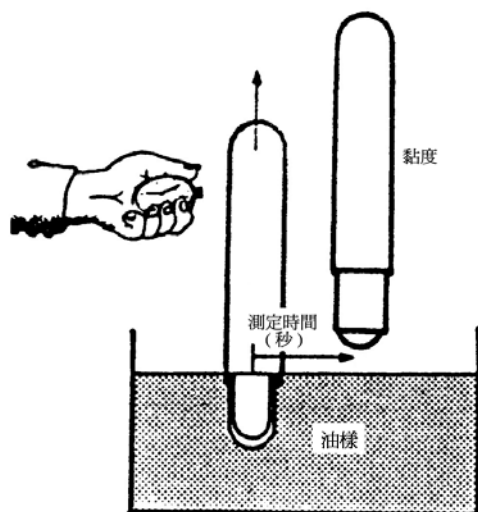
適用於各種黏度之潤滑油。

(二) 儀器

1. 黏度杯，1 套。
2. 碼錶，1 只。
3. 120 號溶劑汽油，1 瓶（250 毫升瓶裝）。
4. 清洗棒 1 根，脫脂棉 1 包。

(三) 操作步驟

1. 將稀釋後之潤滑油樣品攪拌均勻。
2. 準備測量時間碼錶。
3. 將黏度杯放入潤滑油樣品內，使潤滑油樣品與黏度杯之杯面成一平面。
4. 同時提高黏度杯與按下馬錶計算時間，黏度杯底部一定要離開潤滑油樣品液面 5 cm 以上。
5. 當潤滑油樣品從黏度杯底部完全流出，立刻停止時間計算，測得之時間再從換算圖上求出黏度，停止計算時間之時機為從黏度杯底部流出之滿孔潤滑油樣品結束時，殘留用滴的不納入時間計算方為正確(如圖五)。



圖五：黏度量測示意圖

資料來源：化學儀器目錄

(四) 判斷

經由計算得出油的運動黏度，並參考換油標準，若符合使用要求，該油可繼續使用。

四、水分現場快速檢驗法⁹

(一) 適用範圍

適用於所有的潤滑油。它是利用含水的油樣在加熱時發出水氣蒸發的劈啪聲，來判斷油中有無水分和含水量。

(二) 儀器

1. 檢驗水分專用錫箔碟子，1 盒。
2. 蠟燭，1 只。
3. 金屬鑷子，1 把。
4. 50 毫升玻璃燒杯，1 只。
5. 帶橡皮頭玻璃吸管，1 根。

(三) 操作步驟

1. 將油樣瓶中試油搖動均勻，然後倒出 10 毫升左右於小燒杯中。
2. 用吸管將小燒杯中試油吸出，加 4—5 滴於錫箔碟中，用金屬鑷子將碟夾住，然後在碟子底部用點燃蠟燭加熱 30 秒左右。

(四) 判斷

加熱過程中：

1. 只冒煙無響聲，則說明油不含水；

⁹同註 7。

2. 若開始有劈啪聲，再加熱後無聲音，則含水量為“痕跡”；
3. 如果靜聽一直有劈啪爆裂聲，則含水量在 0.03% 左右；
4. 如果不僅有劈啪爆裂聲，而且油還飛濺冒泡，則說明有大量水，達到換油品質指標，應該考慮對該油進行脫水處理。

五、酸鹼值現場快速測定法¹⁰

（一）適用範圍

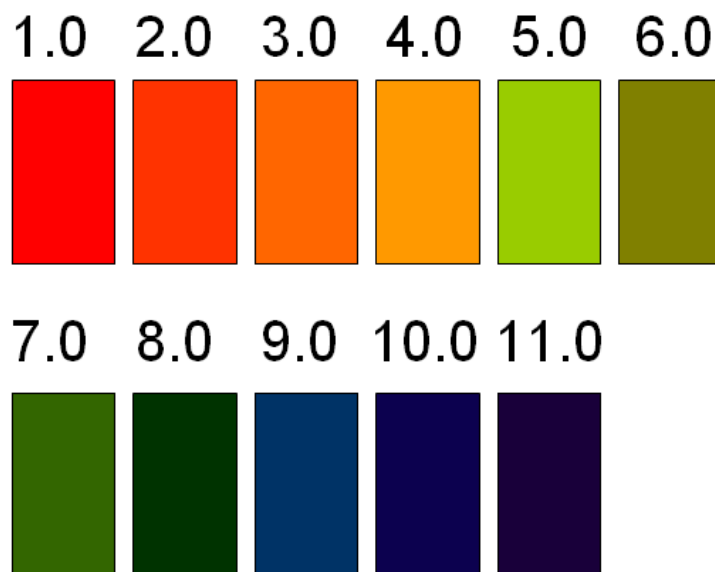
適用於所有潤滑油現場酸鹼值檢驗。

（二）儀器

1. 玻璃試管，2 支。
2. 滴管，1 支。
3. 廣用試紙，1 張。

（三）操作步驟

1. 將油樣瓶中加入水 20ml，充分搖動 2—3 分鐘使其混合均勻。
2. 待油水分離後，用乾淨的滴管取水低於廣用試紙上，檢查試紙上顏色變化。
3. 比對標準酸鹼值顏色（如圖六），並紀錄。



圖六：標準酸鹼值顏色

資料來源：參酌廣用試紙外包裝繪製

（四）判斷

在使用中的潤滑油比新油增加（減少）一個酸鹼值，為換油品質標準。

¹⁰同註 7。

六、斑點試驗法¹¹

（一）適用範圍

主要適用於含有清淨分散劑的潤滑油（主要是內燃機油），判斷其清淨分散性能；也可用於判斷一般工業潤滑油受氧化、污染程度。

（二）儀器

1. 框架，1 個。
2. 滴棒，1 根。
3. 專用濾紙，1 盒。

（三）操作步驟

1. 把專用濾紙 1 張夾在框架圓孔正中間，放平，且濾紙背面不與物體接觸。
2. 將油樣瓶中的油充分搖動、混勻。
3. 立即用乾淨滴棒插入油樣液面至滴棒刻劃線，隨即垂直提起。讓滴棒上間斷滴油，取第 5 滴或第 6 滴一滴，小心垂直滴在濾紙圓心（滴棒頂端離濾紙面約 3 公分）。
4. 在室溫下靜置 1 小時，再觀察斑點圖像。

（四）判斷

目測斑點圖像中三個環對比(如圖七)，分下列四個級別：

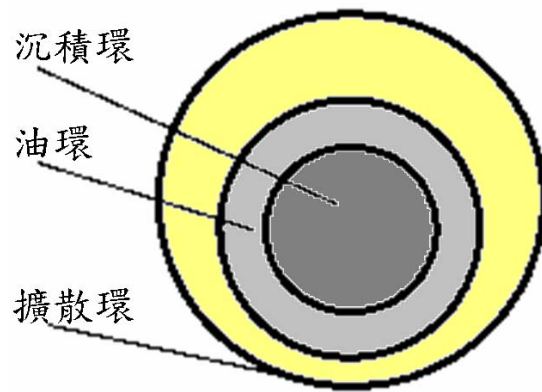
一級：油斑的沉積環和擴散環沒有明顯界限，油環淺而明亮，整個油斑色淺均勻。油質良好。

二級：油斑的沉積環色較深，擴散環較寬，二環之間有明顯分界線，油環呈不同程度的黃色。說明油受到不同程度氧化與污染，應加強現場濾清。油質尚可，能繼續使用。

三級：油斑的沉積環深黑，沉積物密集，擴散環狹窄，油環顏色變深（呈棕紅色）。說明油受到深度氧化，污染嚴重。油質較差，接近不能使用的程度。

四級：油斑只有中心沉積環和油環，無擴散環，沉積環烏黑且稠厚不易乾燥。不能使用、應該換油。

¹¹同註 7。



圖七：斑點圖像三個環

資料來源：華虹科技有限公司，潤滑油質量現場快速檢驗技術。

七、機械雜質現場快速測定法¹²

（一）適用範圍

適用於所有潤滑現場快速觀察機械雜質類型，與色度、斑點試驗綜合考量在用潤滑油受污染程度。



圖八：濾油器

資料來源：化學儀器目錄

（二）儀器，藥品

1. 濾油器：布氏漏斗、含側管之錐型瓶、吸管及吸耳球，1 套。（如圖八）
2. 專用濾紙，1 盒。
3. 10 毫升注射器，1 支。
4. 溶劑汽油（250 毫升玻璃瓶裝），1 瓶。
5. 50 毫升玻璃燒杯，1 只。

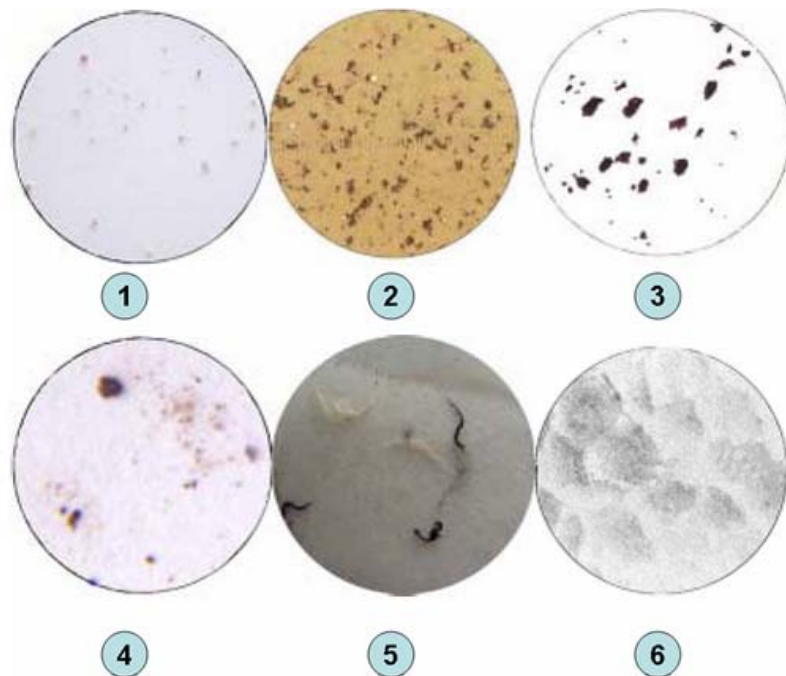
¹²同註 7。

6. 玻璃攪拌棒，1 根。

7. 標準譜圖(如圖九)，1 張。

(三) 操作步驟

1. 取油樣 10 毫升，注入乾淨的小燒杯中，加入溶劑汽油進行稀釋，用玻棒攪勻。
2. 取專用濾紙 1 張，放入濾油器的布氏漏斗中並鋪平，取溶劑汽油滴入濾紙上，使其濕潤服帖（不漏氣）。
3. 將稀釋並攪勻的油液分次倒入濾油器的布氏漏斗中，用吸耳球抽取錐形瓶中的空氣以造成負壓，加快過濾速度。待油濾完時，再用吸管吸取溶劑汽油滴入專用濾紙上洗滌 2 次，並用吸耳球給抽乾。



說明

- 1、砂土：明顯的砂粒、土粒圖案。
- 2、金屬及其銹蝕物：圖中銀白色斑點為金屬“鐵”；金黃色圖像是“銅”；不規則大大小小棕色圖像是“鐵的氧化物”等。
- 3、黑色氧化皮：不規則黑色顆粒，是鐵被氧化而磨損下來的汙物。
- 4、鏽：棕褐色顆粒，一側或四周有不鮮明的橙色。
- 5、纖維：明顯的黑、白或其他顏色纖維線條圖案。
- 6、沉澱物：像山巒一樣覆蓋在濾紙上。

圖九：機械雜質圖譜

資料來源：華虹科技有限公司，潤滑油質量現場快速檢驗技術。

（四）判斷

用放大鏡觀察專用濾紙上機械雜質的外觀、顏色，與機械雜質譜圖對照，以確定機械雜質的性質和污染程度。

綜合上述方法，只要按步驟認真操作和觀察，進行判斷，逐項記錄於油質檢驗記錄表中，便可了解潤滑油品質的基本狀況，以為潤滑油與濾芯更換之參考。

各類油品檢驗項目建議表			
油 品 檢驗項目	引擎機油	齒輪油	液壓油 (含制退油)
外 觀	✓	✓	✓
色 度			✓
黏 度	✓	✓	✓
水 分	✓	✓	✓
酸 值	✓	✓	✓
機 械 雜 質	✓	✓	
斑 點 試 驗	✓	✓	✓
資料來源：筆者自行製作。			

筆者依據各類油品使用狀況歸納相關檢驗項目及自行設計之油質檢驗記錄表，依據油質檢驗結果，可提供各使用單位油品及濾芯更換之參據。

陸 軍 引 擎 機 油 油 質 檢 驗 記 錄 表				
單 位	陸 軍 飛 彈 砲 兵 學 校 教 勤 營 教 二 連		裝 備 品 名 及 程 式	M109A2 式 155 公 厘 自 走 榴 彈 砲
裝 備 序 號	軍 X - X X X X X X		檢 驗 日 期	9 7 年 X 月 X 日
檢 驗 人 簽 名	王 0 0		督 導 軍 官 簽 名	張 X X
項 次	項 目	檢 驗 結 果	判 定	
1	外 觀	☐ 水珠 ☐ 氣泡 ☐ 懸浮物 ☐ 油絲 ☐ 乳化、渾濁、不透明 ☐ 酸味、異味或刺鼻味	☒ 良好【合格】 ☐ 不良【不合格】	
2	色 度	新油色號：_____ 在用油色號：_____	☐ ≤3 個色號【合格】 ☐ ＞3 個色號【不合格】	
3	黏 度	新油： 1. 秒數：_____ 50 _____ 秒 2. 流動黏度：_____ 23.1 _____ CST 在用油： 1. 秒數：_____ 49 _____ 秒 2. 流動黏度：_____ 22 _____ CST	流動黏度誤差： ☒ ≤10%【合格】 ☐ ＞10%【不合格】	
4	水 分	☐ a. 只冒煙無響聲，則說明油不含水。 ☐ b. 若開始有劈啪聲，再加熱後無聲音，則含水量為“痕跡”。 ☐ c. 如果靜聽一直有劈啪爆裂聲，則含水量在 0.03%左右。 ☐ d. 如果不僅有劈啪爆裂聲，而且油還飛濺冒泡，則說明有大量水。	含水分： ☒ 狀況為 a、b 或 c【合格】 ☐ 狀況為 d【不合格】	

5	酸 鹼 值	新油酸鹼值： <u>7.5</u> 在用油酸鹼值： <u>7.5</u>	☒ 酸鹼值相同【合格】 ☐ 增加（減少）一個酸鹼值【不合格】
6	機 械 雜 質	☒ 一級：油斑的沉積環和擴散環沒有明顯界限，油環淺而明亮，整個油斑色淺均勻。 ☐ 二級：油斑的沉積環色較深，擴散環較寬，二環之間有明顯分界線，油環呈不同程度的黃色。說明油受到不同程度氧化與污染，應加強現場濾清。 ☐ 三級：油斑的沉積環深黑，沉積物密集，擴散環狹窄，油環顏色變深（呈棕紅色）。說明油受到深度氧化，污染嚴重。 ☐ 四級：油斑只有中心沉積環和油環，無擴散環，沉積環烏黑且稠厚不易乾燥。	☒ 一級：油質良好。【合格】 ☐ 二級：油質尚可，能繼續使用。【合格】 ☐ 三級：油質較差，接近不能使用的程度。【不合格】 ☐ 四級：不能使用、應該換油。【不合格】
7	斑 點 試 驗	☐ 砂土 ☐ 鏽 ☐ 纖維 ☐ 沉澱物 ☐ 金屬及其銹蝕物 ☐ 黑色氧化皮	☒ 無斑點【合格】 ☐ 有斑點【不合格】
建 議		☒ 油質良好，繼續使用。（免更換濾芯） ☐ 油質尚可，能繼續使用。（免更換濾芯） ☐ 油質較差，接近不能使用的程度，應該換油及濾芯。 ☐ 不能使用，即刻換油及濾芯。	
資料來源：筆者自行製作。			

捌、現況檢討與預期效益分析

目前均未建立一套完善之油品檢測作業規範，導致裝備在未百分之百使用狀況下，卻依時間週期實施定保耗材更換，大量浪費預算，亦未能掌握裝備保養及使用之成效。

以某單位之 M109 式自走砲底盤為例，全年度最高行駛里程數僅達 40 餘公里，而全年度保養次數為 2 次，單砲全年度 0E-30 機油更換量 40 公升（1490 元 / 19 公升 × 40 公升 = 3137 元），機油濾芯 2 個（4.32 美元 × 2 = 8.64 美元 = 264 元【97/04/08 紐約匯市收盤價：1 美元兌換 30.4900 台幣】），所需費用達 3301 元。

若採用本項油質檢驗技術，估計每次檢驗所需材料僅 200 元，經檢驗合格後，無須更換油料之狀況下，一門妥善之 M109 式自走砲，一年至少可節省 40 % 以上之保養費用。

「潤滑油脂」參考牌價表				
產品編號	產品名稱	包裝	計價單位	參考牌價
114LB5112367	特重級車用機油 10W/50	箱, 4 公升*4	箱	1560
114LB5112567	特重級車用機油 15W/40	箱, 4 公升*4	箱	1560
114LB5112967	特重級車用機油 20W/50	箱, 4 公升*4	箱	1560
114LB5115352	特重級車用機油 30	聽, 19 公升	聽	1490
114LB5115452	特重級車用機油 40	聽, 19 公升	聽	1490
114LB5515677	自動變速器油 Dexron-III	瓶, 1 公升	瓶	200
114LB5519677	合成自動變速器油	瓶, 1 公升	瓶	360
114LB5519777	SLP 自動變速器油	瓶, 1 公升	瓶	300
114LB5618767	高級齒輪油 90	箱, 4 公升*4	箱	1680
114LB5628952	多效齒輪油 85W/90	聽, 19 公升	聽	1740
114LB5629452	多效齒輪油 80W/90	聽, 19 公升	聽	1740
114LB5629552	多效齒輪油 85W/140	聽, 19 公升	聽	1780
2008 年 4 月 1 日 0 時 0 分起實施（實際價格以各營業地點公告為準）				
資料來源：中油網站，〈 http://www.cpc.com.tw/ 〉。				

砲 車 預 防 保 養 定 更 材 價 格 統 計 表					
項次	品名	料號	金額 (美金)	適用主件	備考
1	液壓動力機濾心包件	4330013484408	36.91	M109A2、A5 自走砲車	砲塔
2	主燃油濾清器心子	2940007457730	4.8	M109A2、A5 自走砲車 M110A2 自走砲車	底盤
3	副燃油濾清器心子	2910002871912	5.83	M109A2、A5 自走砲車 M110A2 自走砲車	底盤
4	人員加熱器主濾清器心子	4730008936402	1.54	M110A2 自走砲車	底盤
5	人員加熱器副濾清器心子	1650005547430	2.29	M110A2 自走砲車	底盤
6	引擎機油濾清器心子	2940005806283	4.32	M109A2、A5 自走砲車 M110A2 自走砲車	底盤
7	砲塔液壓濾蕊包件	2520001505769	5.26	M110A2 自走砲車	砲塔
8	液壓濾清器心子零件包	2910007589556	3.58	M42 防空砲車	底盤
9	機油濾清器心子	2910007402349	20.15	M42 防空砲車	底盤
10	濾清器心子. 液壓總成	2940007539861	558.48	M42 防空砲車	底盤
11	液壓濾清器心子. 變控器	2520002871937	152	M42 防空砲車	底盤
12	變速器濾網總成. 機油槽	2520007374282	2.59	M42 防空砲車	底盤
13	差速箱機油濾清器	4330YETA74551	13.75	CM24 人員彈藥運輸車	底盤
14	變速箱機油濾清器	4330YETB12062	26.85	CM24 人員彈藥運輸車	底盤
15	燃料濾清器	2910003043427	3.43	CM24 人員彈藥運輸車	底盤
16	燃料油水分離器濾清器	2910011461099	7.69	CM24 人員彈藥運輸車	底盤
17	液壓油箱濾清器	4330010310538	15.75	CM24 人員彈藥運輸車	底盤
18	引擎機油濾清器	2940010194513	8.98	CM24 人員彈藥運輸車	底盤
資料來源：大賣場供售物料清單。					

玖、結語

美軍運用油質檢驗技術，僅駐歐美陸軍就節省 52% 的預算支出，故油質檢驗是值得開發與運用的技術。無論是二級廠或者是基地單位，都可以掌握裝備使用現況，檢驗出損壞之潛在因素，積極裝備維護妥善，又可節約大量經費，

實為一舉數得之工作。

筆者將依此設計，做為小型軍品開發之項目，並建立潤滑油檢測標準作業程序，希望能藉現場潤滑油檢測技術為基礎，針對各式油品(液壓油、齒輪油…等)性能，擴展檢測項目，以增進維保作為，提升裝備妥善，強化國軍戰力。

參考資料

- 一、美國 PALL 公司技術資料，污染控制與過濾原理。
- 二、小川勝著，賴耿陽譯。潤滑油及潤滑。復漢出版社，民國 71 年 1 月 1 日出版。
- 三、中國石油股份有限公司網站。2008 年 4 月 10 日，〈<http://www.cpc.com.tw/>〉(2008 年 4 月 10 日)。
- 四、AMC-R 11-47，Army Oil Analysis Plan (AOAP)，19 Jun 2006。
- 五、范北辰、高阿福、何克威合著。預測保養運用於車輛保養之研究，裝甲兵學校學術季刊 191 期，2007 年 12 月 20 日。
- 六、李生華、金元生、陳大融合著。基於油液診斷與預報的機敏機器系統的概念與技術，北京清華大學摩擦學國家重點實驗室，2007 年 12 月 20 日。
- 七、華虹科技有限公司。潤滑油質量現場快速檢驗技術，2007 年 12 月 25 日。
- 八、石油情報出版社。2008 年 4 月 10 日，〈<http://www.oil.net.tw/>〉，2008 年 4 月 10 日。
- 九、中華民國國家標準 (CNS) 3391。
- 十、大賣場供售物料清單。

作者基本資料

呂致中中校，陸軍官校 79 年班，曾任教官、營長、砲兵組長，現任職於陸軍飛彈砲兵學校兵器組主任教官，通訊地址：永康郵政 90681 附 12 號信箱，連絡電話：軍線 934142。